



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

Flutwellenabschätzung gemäss Hilfsmittel BFE: «Verfahren CTGREF» und «Verfahren Beffa»

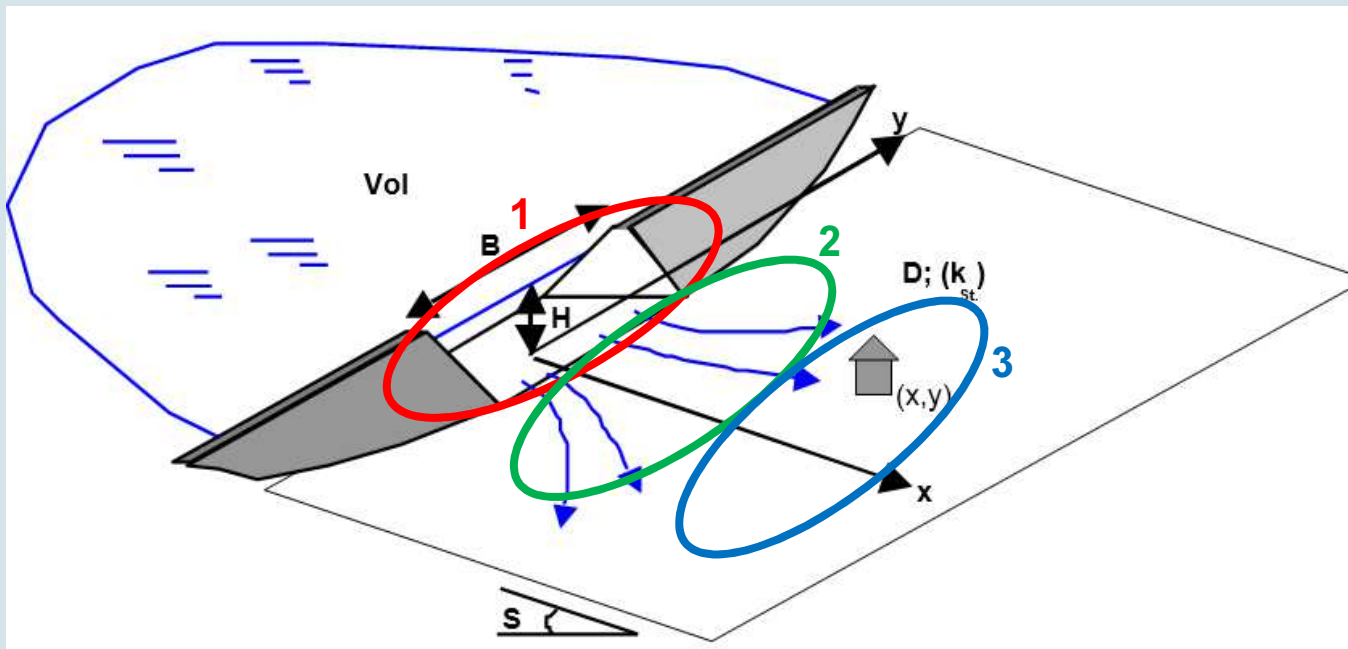
Rocco Panduri

BFE, Sektion Aufsicht Talsperren

11. März 2015



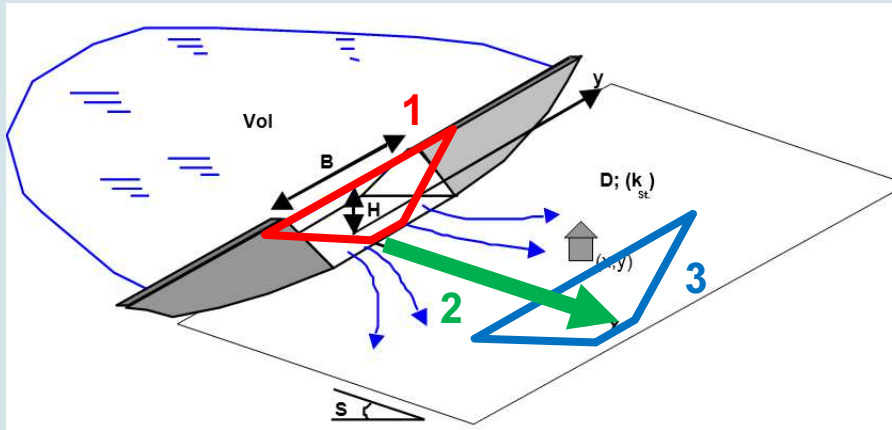
Verfahren CTGREF und Beffa: Generelle Schritte und Resultate



- ➔ Hauptresultate am betrachteten Standort:
- Fließgeschwindigkeit v
 - Abflusshöhe (Wassertiefe) h



Verfahren CTGREF: Anwendung und Annahmen



"Appréciation globale des difficultés et des risques entraînés par la construction des barrages, note technique No 5", Centre technique du génie rural des eaux et des forêts (CTGREF), juin 1978.

- **Bresche und Querprofile durch einfache geometrische Formen angenähert**
- **Ausbreitung eindimensional**
- **Geländeverhältnisse regelmässig (keine plötzlichen Veränderungen des Querschnitts oder des Gefälles)**
- **Trockene Sohle (führt zu einer maximalen Wassertiefe, aber zu einer langsameren Ausbreitung)**



Verfahren CTGREF: Übersicht über die Verfahrensschritte

- 1 {
 - (1) Berechnung des Breschenabflusses Q_b
 - (2) Berechnung des korrigierten Breschenabflusses Q_b'
(Berücksichtigung der Eigenschaften des Staubeckens)
- 2 {
 - (3) Berechnung eines Hilfsparameters zwecks Anwendung des Diagrammes zur Flutwellenausbreitung
 - (4) Berechnung des maximalen Abflusses Q_{\max} in der Distanz X unterhalb der Sperrstelle
- 3 {
 - (5) Berechnung der maximalen Wassertiefe Y_{\max} und der Fließgeschwindigkeit v im Querschnitt X



Verfahren CTGREF: Breschenabfluss

1

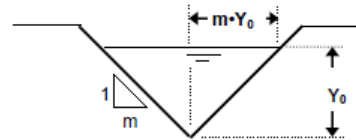
Rechteck:

$$Q_b = 0.93 \cdot L \cdot Y_0^{3/2}$$
$$F = L \cdot Y$$



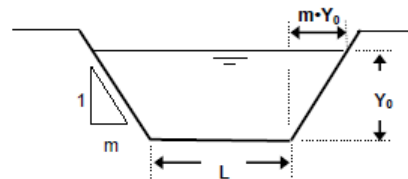
Dreieck:

$$Q_b = 0.72 \cdot m \cdot Y_0^{5/2}$$
$$F = m \cdot Y^2$$



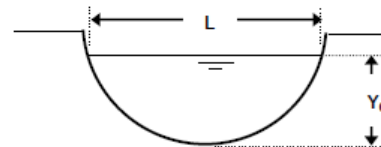
Trapez:

$$Q_b = 0.72 \cdot m \cdot Y_0^{5/2} + 0.93 \cdot L \cdot Y_0^{3/2}$$
$$F = L \cdot Y + m \cdot Y^2$$



Parabel:

$$Q_b = 0.54 \cdot L \cdot Y_0^{3/2}$$
$$F = 2/3 \cdot L \cdot Y$$



→ Breschenabfluss Q_b

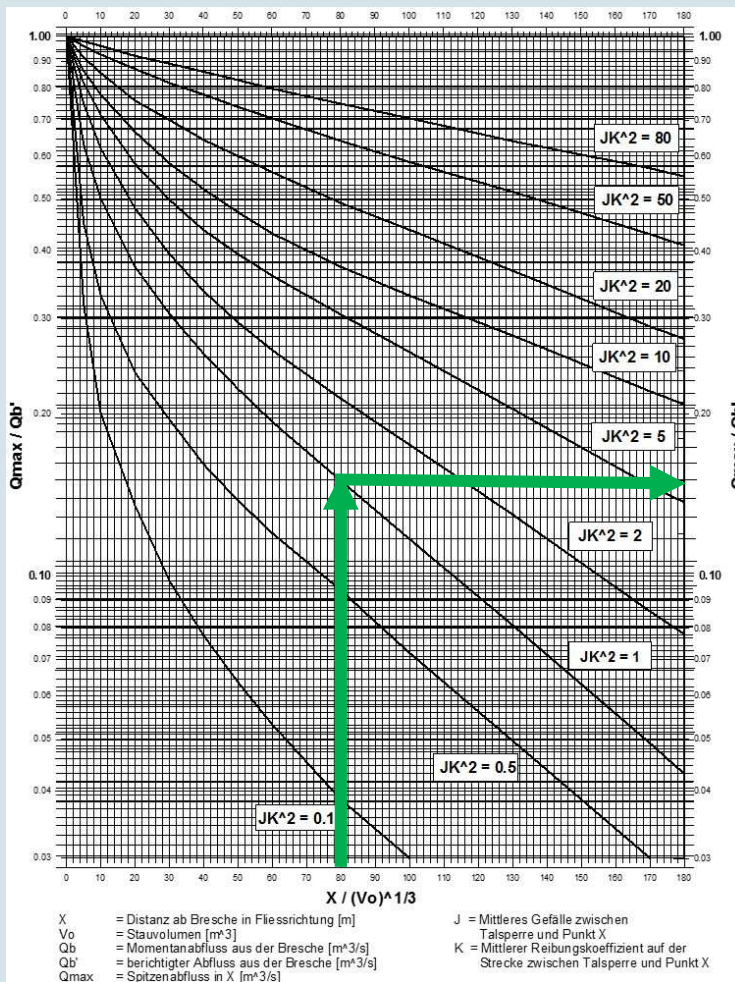


**korrigierter
Breschenabfluss**
 $Q_b' = \mu Q_b$
($\mu = 0.6$ bis 1.4)



Verfahren CTGREF: Ausbreitung der Flutwelle

2



Distanz von der Bresche X



Normierte Distanz $X / V_0^{1/3}$



In Diagramm mit Hilfsparameter JK^2



Normierter Abfluss $Q_{max} / Q_{b'}$

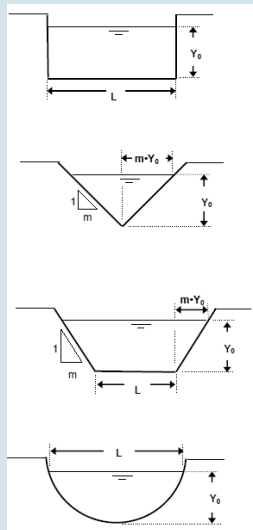


Abfluss Q_{max} im Querschnitt X



Verfahren CTGREF: Querschnittsbetrachtung

3

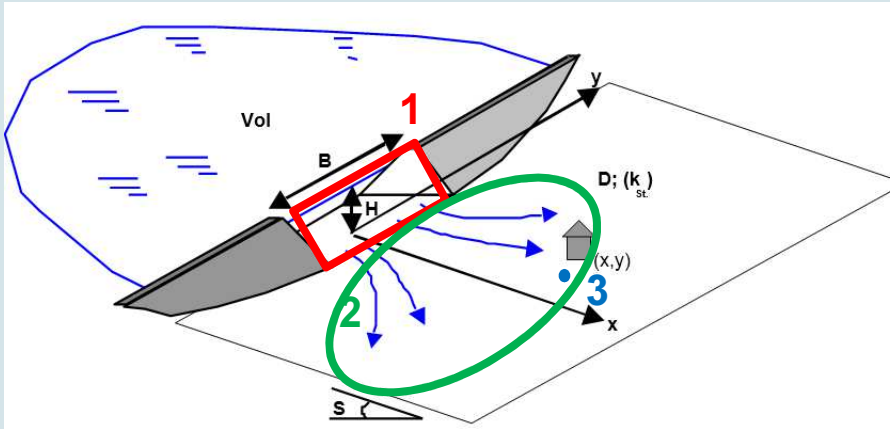


		b)		
		Fall 1: $D_{\max} \leq 10^{-3}$	Fall 2: $D_{\max} > 100$	Fall 3: $10^{-3} < D_{\max} < 100$
a)	D_{\max}	c)		
Talform		Y_{\max}	Y_{\max}	(U_{\max} aus Diagramm 2) Y_{\max}
Rechteck	$\frac{Q}{K_1 \cdot J_1^{1/2} \cdot L^{8/3}}$	$L \cdot D_{\max}^{3/5}$	$1.59 \cdot L \cdot D_{\max}$	$L \cdot U_{\max}$
Dreieck	$\frac{Q \cdot (1 + m^2)^{1/3}}{K_1 \cdot J_1^{1/2} \cdot m^{5/3}}$	$1.2 \cdot D_{\max}^{3/8}$	$1.2 \cdot D_{\max}^{3/8}$	$10 \cdot U_{\max}$
Trapez	$\frac{Q \cdot m^{5/3}}{K_1 \cdot J_1^{1/2} \cdot L^{8/3}}$	$\frac{L}{m} \cdot D_{\max}^{3/5}$	$1.3 \cdot D_{\max}^{3/8}$	$\frac{L}{m} \cdot U_{\max}$
Parabel	$\frac{Q}{K_1 \cdot J_1^{1/2} \cdot p^{16/3}}$	$1.37 \cdot p^2 \cdot D_{\max}^{0.46}$	$1.86 \cdot p^2 \cdot D_{\max}^{0.55}$	$p^2 \cdot U_{\max}$

- ➔ Maximale Wassertiefe Y_{\max} im Querschnitt X
(in Abhängigkeit des Parameters D_{\max} , allenfalls aus U_{\max} aus Diagramm)
- ➔ Fließgeschwindigkeit v aus Q_{\max} und Y_{\max}



Verfahren Beffa: Anwendung und Annahmen



Beffa, C., 2000: Ein Parameterverfahren zur Bestimmung der flächigen Ausbreitung von Breschenabflüssen; «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 93. Jg., Heft 3/4, 2000

- Bresche rechteckig
- Ausbreitung flächig
- Geländebeziehungen regelmässig (Quergefälle und Veränderungen des Längsgefälles sind gering)
- mittlere bis grosse Sohlgefälle (ab ca. 0.5%)
- Transformation der Grössen in dimensionslose Parameter



Verfahren Beffa: Übersicht über die Verfahrensschritte

- 1 { (1) Berechnung der Skala des spezifischen Abflusses, Q
(2) Berechnung der übrigen charakteristischen Größen zwecks Anwendung der Diagramme
- 2 { (3) Ermittlung des spezifischen Abflusses q_x in der x-Achse
(4) Ermittlung der Fließgeschwindigkeit v_x in der x-Achse
(5) Berücksichtigung der lateralen Ausbreitung
- 3 { (6) Berechnung der Abflusshöhe am Standort



Verfahren Beffa: Breschenabfluss und charakteristische Grössen

1

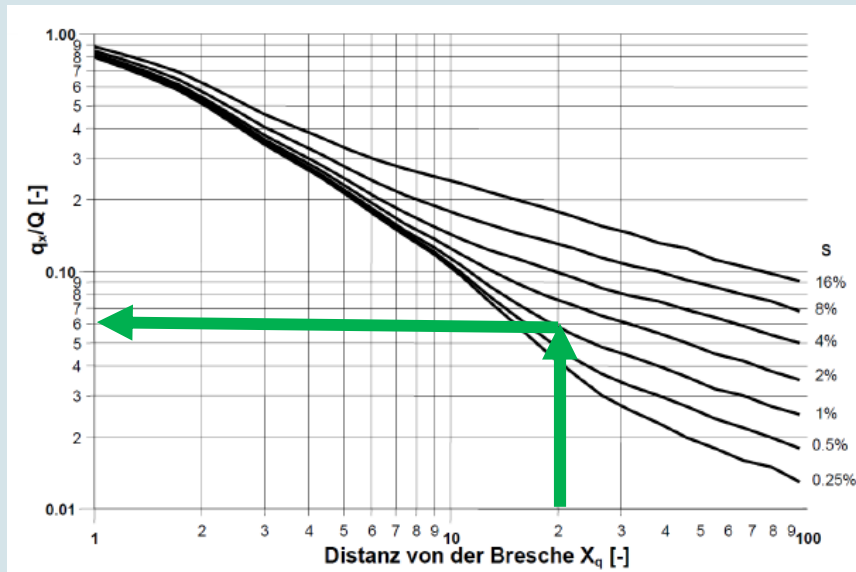
Charakteristische Grösse	Ausdruck	Einheit	Bemerkung
Dimensionsloses Speichervolumen Vol_0	$Vol_0 = \frac{Vol}{BH^2}$	-	
Längenskala L_0 bzw. L_q	$L_0 = L_q = \sqrt{BH}$	m	
Dimensionloser Breschenabstand X_0	$X_0 = x / L_0$	-	
Dimensionloser Breschenabstand X_q	$X_q = x / L_0$	-	für den spezifischen Abfluss; ist gleich X_0 für grosse Speichervolumina
Dimensionloser Breschenabstand X_v	$X_v = x / L_0$	-	für die Fliessgeschwindigkeit; ist gleich X_0 für grosse Speichervolumina
Skala des spezifischen Abflusses Q	$Q = \frac{\sqrt{gB}}{3.13} H \left(\frac{H}{30D} \right)^n$	m^2/s	$n = \begin{cases} 0 & \text{für } X_q < 6 \\ 1/10 & \text{für } X_q \geq 6 \end{cases}$ Der Ausdruck $\sqrt{g} / 3.13$ nimmt für SI-Einheiten den Wert 1.0 an.
Skala der Fliessgeschwindigkeit V	$V = \sqrt{gH} \left(\frac{H}{30D} \right)^n$	m/s	$n = \begin{cases} 1/10 & \text{für } X_q < 6 \\ 1/4 & \text{für } X_q \geq 6 \end{cases}$

Allenfalls anschliessende Korrektur für kleine dimensionslose Volumina

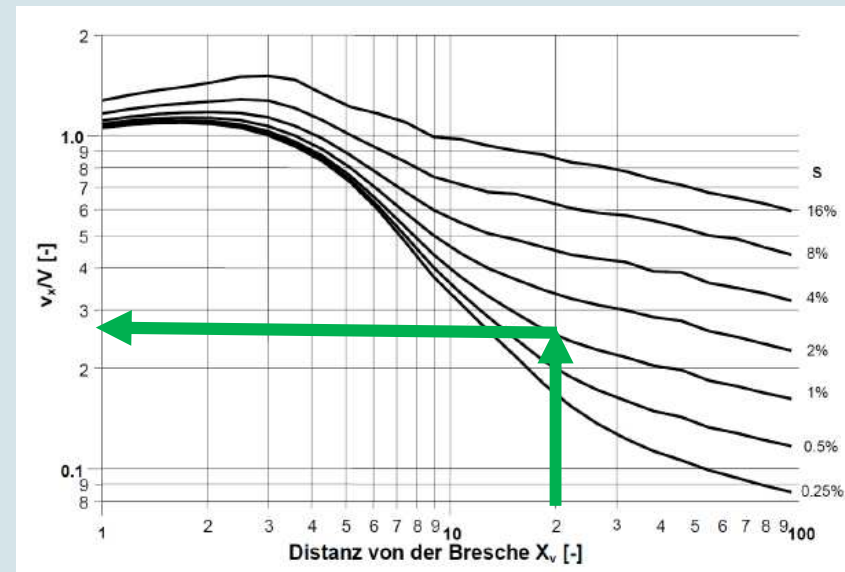


Verfahren Beffa: Ausbreitung der Flutwelle entlang Hauptachse

2



→ spezifischer Abfluss q_x
in der x-Achse

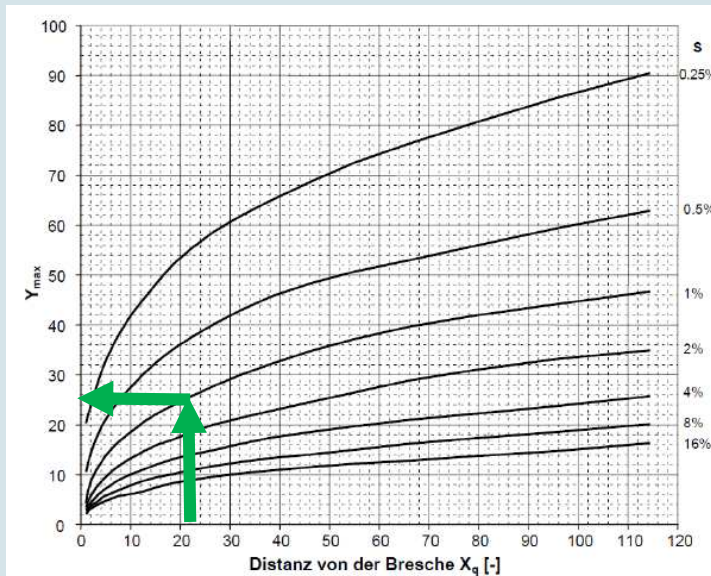


→ Fließgeschwindigkeit v_x
in der x-Achse

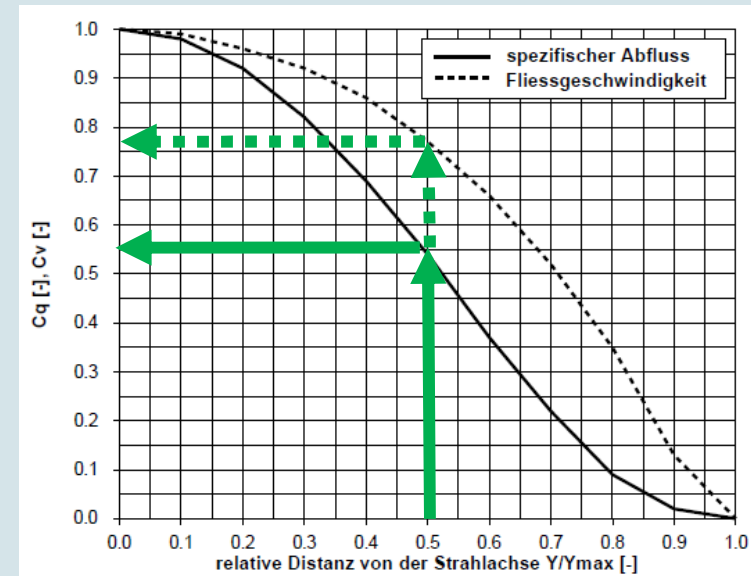


Verfahren Beffa: Laterale Ausbreitung, Standortbetrachtung

2



→ Maximale laterale Ausbreitung Y_{\max} in der Distanz X_q von der Bresche



→ Querprofilwerte c_q (für den spezifischen Abfluss) und c_v (für die Fließgeschwindigkeit)

3 am Standort (x / y):
Fließgeschwindigkeit $v = v_x c_v$
Abflusshöhe $h = (q_x c_q) / v$



Verfahren CTGREF und Beffa: Hilfsmittel auf BFE Homepage



- ➔ Beschreibung der Verfahren, inkl. Anwendungsbeispiele
- ➔ Für Verfahren «Beffa» wird auf der Homepage auch ein Computerprogramm zur Verfügung gestellt (Standortsuche, Sensitivitätsanalyse so vereinfacht)